

東山動植物園コンクリート製恐竜像の安全性に関する基礎的研究

名古屋大学大学院 学生会員

○阪本 早弥奈

名古屋大学大学院 正会員

中村 光 三浦 泰人

1. はじめに

東山動植物園には昭和13年に製作された3体のコンクリート製恐竜像が存在し、現在これらを保存・修復するための調査が行われている¹⁾²⁾。恐竜像は製作から75年が経ち、材料特性が不明であるとともに、複雑な形状をしているため地震時の挙動の予測も困難である。そこで本研究では、まず恐竜像の材料特性値を明らかにするための各種力学試験による材料調査を行った。次にこれらの調査に基づき、3次元有限要素法によりモデル化を行い、地震動応答解析および静的な2方向解析を行うことで安全性に対する評価を行った。

2. 恐竜像の概要

既往の研究および調査¹⁾²⁾において、恐竜像内外部の形状調査や劣化調査などが行われている。恐竜像は、内部に鉄骨と鋼棒の枠組みを有し、外皮は金網が入ったモルタルであることが分かっている。また、下半身にコンクリートが充填されていて上半身は空洞である。今回の解析対象であるブロントサウルスの設計図を図-1に、首部分の内部の様子を写真-2に示す。これより、首部分には頭部まで続く鉄骨とリング状の鋼棒が配置されていることが分かる。リング状の鋼棒の上に金網が巻かれ、金網にモルタルが塗布されている。

3. 材料調査

恐竜像の材料特性を明らかにするため、恐竜像外皮から採取した、 $\Phi 50\text{mm}$ の小径コアによる圧縮試験および密度試験と、金網を有する約 $30 \times 30 \times 100\text{mm}$ の角柱による3点曲げ試験を行った。表-1に各試験の結果を示す。圧縮強度は 20N/mm^2 程度であり、ヤング係数および密度は同程度の圧縮強度を持つモルタルのものと近い値となった。曲げ試験より曲げ強度を算出し、逆解析により引張強度および引張破壊エネルギーを求めた。なお、曲げ試験において荷重がポストピークにおいて保持されず急激に低下したため、金網がひび割れ発生後の挙動にほとんど寄与しないことが確認された。

4. 地震動に対する応答挙動評価

本研究では、3体の恐竜像のうち、ブロントサ

ウルスについて3次元有限要素法を用いた地震動に対する動的解析を行った。外部形状のモデル化は、3次元レーザースキャナの計測結果に基づいて行った。胴体部分の外皮の厚さが 200mm 程度であったため、胴体空洞部および首部分の外皮の厚さを全て 200mm としてモデル化した。外皮は2要素となるように $100 \times 100 \times 100\text{mm}$ の立方体でモデル化した。要素数は33,165である。また、内部には前述の通り鉄骨や鋼棒が配置されているが、腐食が進行していることや、配置状況が現状では正確に把握できていないため、鉄骨や鋼棒はモデル化せず金網が入ったモルタルのみを構造体としてモデル化した。なお、設計図には恐竜像の足の下に木杭があると記されているが、本解析では恐竜像と地面を全面固定とした。図-2にブロントサウルスのモデル図を示す。なお、図-2

キーワード 地震動応答解析, 調査, 恐竜像, 有限要素法,

連絡先 〒464-8601 名古屋市千種区不老町 国立大学法人 名古屋大学 TEL 052-789-5111



写真-1 ブロントサウルス

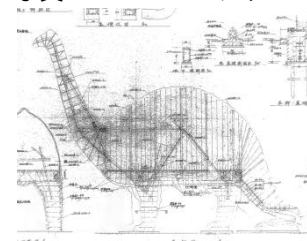


図-1 設計図

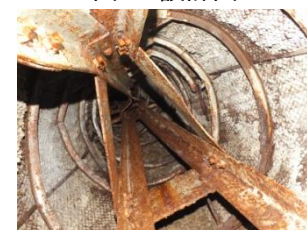


写真-2 内部の様子

表-1 試験結果

$f'_c(\text{N/mm}^2)$	$E(\text{N/mm}^2)$	$\rho(\text{g/cm}^3)$	$f_b(\text{N/mm}^2)$	$f_t(\text{N/mm}^2)$	$G_F(\text{N/m})$
18.9	1.24×10^4	1.86	3.0	1.7	32

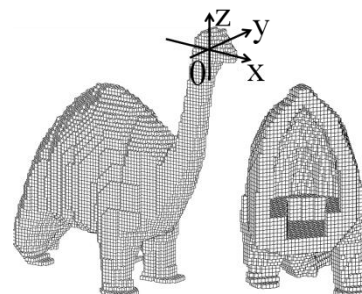


図-2 モデル図

中の座標軸は頭部の点を原点としている。入力地震波には 1995 年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台地盤上で観測された NS 成分を用いた。水平 2 方向に NS 成分を、鉛直方向に NS 成分を 1/2 倍したものを同時に入力した。自重の影響を考慮するため、まず鉛直上向きに重力加速度を与えた後に地震波を入力した。ここで、地震動応答解析を行うにあたり、ブロントサウルスを非減衰自由振動させることにより、簡易的に固有周期を求めた。その結果、ブロントサウルスの首部分の固有周期は約 0.09s であった。首部分は 5m 程の長さがあるが、中空であり質量が小さいことから、固有周期は非常に小さな値である。図-3 に x 方向の時刻歴応答変位を示す。応答は固有周期よりも小さい周期が卓越する結果となった。また、図-4 に x,y 平面の時刻歴応答変位を示す。x,y 方向はほぼ同じ程度の変位で振動している。なお、z 方向の変位は x,y 方向の約 1/4 倍程度であった。また、図-4 中の×印の時の引張ひずみコンター図および変形図を図-5 に示す。図-5 より首部分と足の一部に大きな引張ひずみが出ていることが分かる。

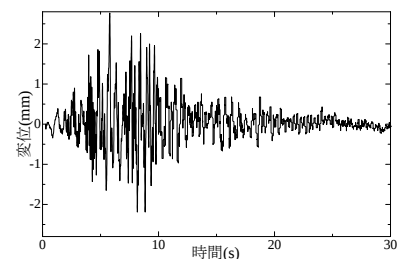


図-3 時刻歴応答変位

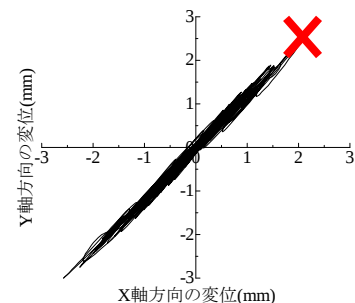


図-4 x, y 平面の応答変位

5. 詳細モデルによる応答挙動評価

前章の地震動に対する動的解析の結果から、恐竜像の首部分に引張ひずみが大きく出ることが分かった。そこで本章では、首部分の挙動を検証するために詳細モデルを用いて安全性の評価を行った。前章と同様に外皮の厚さを 200mm とし、曲げひび割れの進展が妥当に評価できるように、外皮が 4 要素となるようにモデル化した。要素数は 25,992 であり、首と胴体の連結部分を固定として解析を行った。また、荷重は地震時の慣性力を、部位の質量と応答加速度に比例するように x,y 方向に等分布荷重を載荷し、その荷重比を保ちながら荷重を増加させていった。図-6 に x,y 方向それぞれの荷重-変位関係を示す。縦軸は総荷重値を総質量と重力加速度で除した静的震度であり、赤線が x 方向、黒線が y 方向の荷重-変位関係を表す。応答解析よりも小さな変位量で最大荷重を迎えた後、荷重が一度急激に低下した後は緩やかに低下していくという挙動が見られた。また、図-7 にポストピーク時の引張ひずみコンター図および変形図を示す。首部分の根元にひずみが局所化するという挙動を示した。

6. 結論

本研究で得られた結果を以下に示す。

- ・材料調査を行うことによって、不明であった恐竜像材料の材料特性を明らかにし、現在のモルタルと大きな相違はないことが分かった。

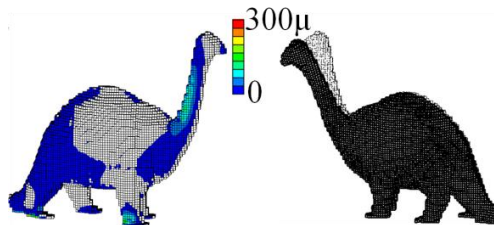


図-5 コンター図および変形図

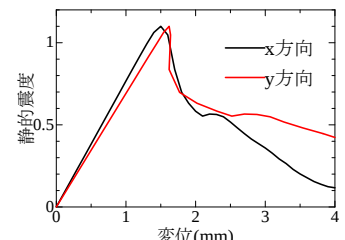


図-6 荷重-変位

- ・地震動に対する応答挙動を算定し、ひずみが大きく出る首部分の挙動を詳細モデルを用いて評価した。今回解析した条件では、首部分にひび割れが局所化し、ある程度の損傷が発生する可能性が高い結果となった。
- ・今回の応答解析では、水平 2 方向に大きい波を入力し鉄骨や鋼棒はモデル化せず、恐竜像と地面を全面固定とした。実際に安全性を評価するためには、より詳細なモデルを作製し検討する必要がある。

謝辞

恐竜像の調査の際に、東山動植物園、名古屋工業大学河辺研究室、金城学院大学朴ゼミの皆様、および ASCoT 渡辺様をはじめとする多くの方々にご尽力頂いた。また、恐竜像のモデルを作製するにあたり、恐竜像外部の座標データを中部復建株式会社、前田様に頂いた。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中村真吾, 河辺伸二, 渡辺正雄(2014): 東山動植物園のコンクリート製恐竜像の内視鏡調査, 日本建築学会東海支部
- 2) 東山動植物園恐竜像調査保存委員会(2014): 第 2 回東山動植物園恐竜像調査保存委員会報告書

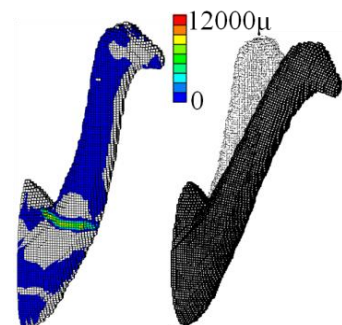


図-7 コンター図および変形図